

УДК 629.11

*А.Н. БОРИСЕНКО, Н.Е. СЕРГИЕНКО, Е.Е. СВЕТЛИЧНАЯ, О.Н. АГАПОВ, И.А. ПЕРЕВОЗНИК***СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ВИБРОДИАГНОСТИКЕ КЛАПАННОГО МЕХАНИЗМА ГРМ**

Предлагаются современные подходы к вибродиагностике клапанного механизма газораспределительного механизма (ГРМ) ДВС. Среди детерминированных методов диагностики ГРМ в первую очередь следует выделить спектральные методы, базирующиеся на спектральном анализе виброграмм. При этом подходе предполагается, что эти виброграммы не случайны, и поэтому при их анализе используются либо обычные спектроанализаторы, либо численные методы, позволяющие находить дискретное преобразование Фурье по отчетам таких реализаций. Предлагается использование статистического метода обработки любого конечного числа виброграмм для достижения заданной точности и достоверности диагностики клапанного механизма. При статистическом подходе вся вибродиагностика базируется на соответствующим образом выбранной и глубоко аргументированной вероятностной модели вибраций. Представлены этапы проведения вибродиагностики, которые включают установление диагностических признаков, выбор диагностических пространств, построение решающих правил по диагностированию дефектов в исследуемом клапанном механизме.

**Ключевые слова:** ДВС, газораспределительный механизм, клапанный механизм, вибрация, диагностика, спектральные методы, виброграмма, обработка, частота, резонанс, диагностические признаки, момент вибрации, коэффициенты асимметрии и эксцесса.

*А.М. БОРИСЕНКО, М.Є. СЕРГІЄНКО, Є.Є. СВЕТЛИЧНА, О.М. АГАПОВ, І.А. ПЕРЕВОЗНИК***СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВІБРОДІАГНОСТИКИ КЛАПАННОГО МЕХАНІЗМУ ГРМ**

Пропонуються сучасні підходи до вібродіагностики клапанного механізму газорозподільного механізму (ГРМ) ДВЗ. Серед детермінованих методів діагностики ГРМ в першу чергу слід виділити спектральні методи, що базуються на спектральному аналізі віброграм. При цьому підході передбачається, що ці віброграм не випадкові, і тому при їх аналізі використовуються або звичайні спектроаналізатори, або чисельні методи, що дозволяють знаходити дискретне перетворення Фур'є за звітами таких реалізацій. Пропонується використання статистичного методу обробки будь-якого кінцевого числа віброграм для досягнення заданої точності і достовірності діагностики клапанного механізму. При статистичному підході вся вібродіагностика базується на відповідним чином обраній і глибоко аргументованою ймовірнісної моделі вібрацій. Представлені етапи проведення вібродіагностики, які включають встановлення діагностичних ознак, вибір діагностичних просторів, побудова вирішальних правил з діагностування дефектів в досліджуваному клапанному механізмі.

**Ключові слова:** ДВЗ, газорозподільний механізм, клапанный механізм, вібрація, діагностика, спектральні методи, віброграма, обробка, частота, резонанс, діагностичні ознаки, момент вібрації, коефіцієнти асиметрії та ексцесу.

*A.N. BORISENKO, N.Ye. SERGIENKO, Ye.Ye. SVETLICHNAYA, O.N. AGAPOV, I.A. PEREVOZNYK***MODERN APPROACHES TO VIBRATION AND DIAGNOSTICS OF VALVE MECHANISM OF THE GAS-DISTRIBUTION MECHANISM**

Modern approaches are offered to vibration diagnostics of the valve mechanism of the gas distribution mechanism (RM) of the internal combustion engine. Among the deterministic methods for the diagnosis of timing is to first of all select spectral methods based on the spectral analysis of vibrograms. With this approach, it is assumed that these vibrograms are not random, and therefore, when analyzing them, either conventional spectrum analyzers or numerical methods are used to find the discrete Fourier transform from the reports of such implementations. It is proposed to use a statistical method of processing any finite number of vibrograms to achieve a given accuracy and reliability of diagnostics of the valve mechanism. In the statistical approach, all vibration diagnostics is based on an appropriately selected and deeply argued probabilistic model of vibrations. The stages of vibration diagnostics are presented, which include the establishment of diagnostic signs, the choice of diagnostic spaces, the construction of decision rules for diagnosing defects in the valve mechanism under study.

**Keywords:** Internal combustion engine, gas distribution mechanism, valve mechanism, vibration, diagnostics, spectral methods, vibrogram, processing, frequency, resonance, diagnostic signs, vibration moment, asymmetry coefficients and excess.

**Введение.** В настоящее время получили развитие теория и практика компьютерных систем не только для управления ДВС, но его диагностики [1 и др.]. При этом появились особенности передачи информации при диагностике автомобилей, тракторов и стационарных установок с ДВС [2]. Для отработки измерительных комплексов создаются стенды [3] и совершенствуются информационно-измерительные системы [4]. При этом в основу анализа сигналов, характеризующих работу механизмов ДВС, к примеру клапанов газораспределительного механизма (ГРМ), чаще закладываются данные эксперимента [5-8]. Использование детерминированных методов при диагностике не оправдано, поскольку вибрация клапанов ГРМ носит случайный характер по своей природе. Эта случайность отчетливо проявляется в

отсутствии повторяемости зарегистрированных виброграмм при неизменных условиях эксперимента. Кроме того, на вибрации ГРМ в точке их регистрации влияют вибрации и шумы других узлов работающего двигателя. Указанные обстоятельства исключают возможность получить достоверный ответ о техническом состоянии клапанного механизма ГРМ на основе одного измерения и любое принятое диагностическое решение, даже построенное на исследовании значительного количества виброграмм, связано с определенной долей сомнения, количественная оценка которой возможна только при статистическом подходе.

**Анализ состояния вопроса.** Среди детерминированных методов диагностики ГРМ в первую очередь следует выделить спектральные

методы, базирующиеся на спектральном анализе виброграмм [1,8]. При детерминированном подходе предполагается, что эти виброграммы не случайны, и поэтому при их анализе используются либо обычные спектроанализаторы, либо численные методы, позволяющие находить дискретное преобразование Фурье по отсчетам таких реализаций. Применение этого способа диагностики сопряжено с непреодолимой в рамках детерминированного подхода трудностью: отсутствием повторяемости результатов такого анализа в серии экспериментов при неизменных исходных условиях. Выйти из такой типичной ситуации можно только путем использования статистического подхода. Другие детерминированные методы всегда приводят к аналогичным ситуациям, а исследователи зачастую проводят лишь единственный эксперимент, не интересуясь, что будет, если его повторить при тех же начальных условиях. Эта ситуация характеризуется отсутствием повторяемости результатов эксперимента [9-12].

Основным исходным требованием при использовании статистического подхода является наличие возможности хотя бы в принципе получить любое конечное необходимое число виброграмм для достижения заданной точности и достоверности диагностики, т.е. применимость этого подхода зависит от наличия возможности после любого эксперимента сделать еще один такой же эксперимент.

**Цель работы** – определение этапов, методики построения оценок при проведении вибродиагностики клапанного механизма.

**Порядок и методика вибродиагностики клапанного механизма ГРМ.** При статистическом подходе вся вибродиагностика базируется на соответствующим образом выбранной и глубоко аргументированной вероятностной модели вибраций и чаще всего проводится в три этапа:

1. Первый заключается в установлении диагностических признаков, отвечающих различным техническим состояниям клапанного механизма и чувствительным к их изменениям.

2. Второй связан с выбором диагностических пространств (на этапе обучения) и предусматривает формирование по экспериментальным данным обучающих совокупностей (образов), соответствующих конкретным дефектам клапанного механизма ГРМ.

3. Третий предусматривает построение решающих правил по диагностированию дефектов в исследуемом клапанном механизме ГРМ и принятию решений и реализуется на базе имеющихся обучающих совокупностей путем регистрации, при заранее оговоренных режимах работы двигателя, вибраций диагностируемого клапанного механизма ГРМ ДВС по определенному правилу с последующей их статистической обработкой, завершающейся вынесением диагностического решения.

Рассмотрим первый этап. При установлении диагностических признаков основную роль играет модель вибраций. От того, насколько удачно сделан ее выбор, насколько хорошо согласуется эта модель и

подтверждается экспериментальными данными, в значительной степени зависит успех диагностики. Требуется, чтобы входящие в модель параметры имели простую физическую трактовку, легко вычислялись при задании модели в теоретическом виде, и самое главное, чтобы на этапе обучения их можно было измерять с требуемой точностью. Кроме того, эти параметры должны быть настолько информативными, чтобы по ним можно было строить оптимальные и эффективные процедуры диагностики, обеспечивающие минимальную затрату времени и средств на их оценивание. Указанные требования достаточно трудно осуществить, поэтому первый этап является сложной комплексной задачей, для решения которой необходимо использовать современный математический аппарат и провести относительно большое количество экспериментов, связанных как с натурными испытаниями, так и с экспериментами на специальных стендах.

Из анализа математической модели вибраций ГРМ ДВС следует, что наиболее доступную и в то же время достаточно полную информацию для решения задач диагностики содержат корреляционная функция, спектральная плотность мощности и одномерная плотность распределения вероятностей рассматриваемых вибраций или величины, которые по ним определяются: частоты резонансов, экстремумы корреляционной функции, степенные моменты и др. Все перечисленные выше функции и параметры представляют собой элементы, из которых на втором этапе в выбранных диагностических пространствах, строятся обучающие совокупности. Под последними подразумеваются определенным образом сформулированные и разбитые на подмножества наборы измеряемых параметров. Но в первую очередь в качестве диагностических признаков могут быть использованы коэффициенты затухания и частотные параметры (1) и (2).

$$R(s) = \sum_{i=1}^n e^{-\beta_i |s|} [A_{in} \cos \psi_i s + B_{in} \sin \psi_i |s|] \quad (1)$$

при всех  $s \in (-\infty, \infty)$ .

В (1) все компоненты вектора  $\psi_i, i = \overline{1, n}$ , будем называть резонансными частотами, так как они определяют положение максимумов спектра, а компоненты вектора  $\beta_i, i = \overline{1, n}$  – коэффициентами затухания.

$$S(\omega) = 2 \sum_{i=1}^n \frac{A_{in} \beta_i (\omega_i^2 + \omega^2) + B_{in} \psi_i (\omega_i^2 - \omega^2)}{(\omega_i^2 + \omega^2)^2 - 4\omega^2 \psi_i^2} \quad (2)$$

Рассмотрим подробнее вопрос статистической оценки этих параметров.

Первым этапом при обработке зарегистрированных виброграмм является проверка гипотезы об их стационарности, которая проводится на основе статистических методов и критериев. В

зависимости от результатов этой проверки выбирается вид усреднений, и только после этого осуществляются их корреляционный и спектральный анализы для получения эмпирических корреляционных функций и спектральных плотностей мощностей. По статистическим оценкам корреляционных и спектральных функций определяются значения резонансных частот и коэффициентов затухания, выступающих в качестве диагностических признаков.

Корреляционная функция вибраций ГРМ ДВС представляет собой отрезок экспоненциально-синусного ряда [9,10] вида (1) или (3), которые являются диагностическими параметрами

$$R(s) = \sum_{i=1}^n e^{-\beta_i |s|} C_{in} \sin(\psi_i |s| + \Phi_{in}) \quad (3)$$

В качестве просто определяемого приближения для резонансных частот можно взять частоты, на которых наблюдаются резонансные пики в оценке спектральной плотности (2). Так можно поступить, когда наблюдается много сильно выраженных резонансных пиков. Точное, но громоздкое и выполнимое только с использованием персонального компьютера (ПК) нахождение этих параметров можно реализовать при решении системы нелинейных алгебраических уравнений, получающихся при различных значениях  $S$  из (1) или (3) либо при различных значениях  $\omega$  из (2). Удобно в качестве таких значений выбирать точки экстремума или нули исходных функций.

В частности, если спектральная плотность мощностей вибраций имеет только один сильно выраженный резонанс при условии, что остальные практически не значимы, т.е. в (1) или (2) можно аргументировано принять  $n=1$ , то (1) представим в виде

$$R(s) = R(0) \hat{R}(s), \quad (4)$$

где

$$R(0) = a_1^2 \kappa_2 \omega_1^2 / 4\beta_1; \quad (5)$$

$\hat{R}(s)$  – нормированная корреляционная функция,

$$\hat{R}(s) = e^{-\beta_1 |s|} \left( \cos \psi_1 s + \frac{\beta_1}{\psi_1} \sin \psi_1 |s| \right). \quad (6)$$

На рис. 1 приведена нормированная корреляционная функция при  $s \geq 0$  для случая одного резонанса. Точки экстремумов функции (6) легко находятся дифференцированием. Их бесконечное множество. Будем обозначать их через  $s_i, i=1, 2, 3, \dots$ , причем  $s_i = \pi i / \psi_1$ . Поэтому в качестве статистической оценки  $\psi_1$  можно выбрать линейную оценку от наблюдаемых  $\tilde{s}_i$  в виде

$$\tilde{\psi}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\pi j}{\tilde{s}_i},$$

где  $n$  – объем случайной выборки  $\{\tilde{s}_i, j = \overline{1, n}\}$ .

Можно поступить следующим образом. Из (6) видно, что  $R(s_i) = (-1)^i e^{-\beta_1 s_i}$  при  $s_i > 0, i=1, 2, \dots$ . Поэтому в качестве статистической оценки  $\beta_1$  возьмем среднее арифметическое

$$\tilde{\beta}_1 = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\ln[(-1)^i \hat{R}(s_i)]}{\tilde{s}_i}, \quad (7)$$

где  $\hat{R}(s_i), i = \overline{1, n}$  – оценка экстремальных значений нормированной корреляционной функции (6).

Однако следует учитывать, что на практике мы имеем дело с временным рядом, поэтому при оценке указанных параметров появляется дополнительная методическая погрешность, вызванная дискретизацией и уменьшающаяся с уменьшением шага дискретизации.

Спектральная плотность мощностей в случае  $n=1$  в соответствии с (2)

$$S(\omega) = S(0) \hat{S}(\omega), \quad (8)$$

где  $S(0) = a_1^2 \kappa_2$  и нормальная спектральная плотность;

$$\hat{S}(\omega) = \frac{\omega_1^4}{(\omega_1^2 + \omega^2)^2 - 4\omega^2 \psi_1^2}. \quad (9)$$

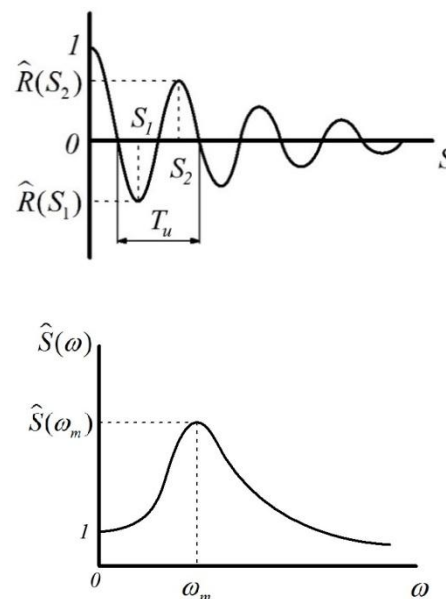


Рис. 1. Нормированная корреляционная функция и спектральная плотность

Характер изменения этой функции показан на рис. 1. При  $2\psi_1^2 > \omega_1^2$  она достигает в точке

$$\omega_m = \sqrt{2\psi_1^2 - \omega_1^2} = \sqrt{\omega_1^2 - 2\beta_1^2} \quad (10)$$

максимума, значение которого

$$\hat{S}(\omega_m) = \frac{\omega_1^4}{4\psi_1^2\beta_1^2}. \quad (11)$$

В колебательном режиме при малых затуханиях, т.е. при  $\beta_1 \rightarrow 0$ , имеем  $\psi_1 \rightarrow \omega_1$  и  $\omega_m \rightarrow \psi_1$ , а  $S(\omega_m) \rightarrow \infty$ .

Если построить статическую оценку спектральной функции, можно оценить по ней значения параметров  $\psi_1$  и  $\beta_1$ , исходя из выражений (10) и (11), учитывая что  $\omega_1^2 = \psi_1^2 + \beta_1^2$ . Для этого потребуется оценить  $\omega_m$  и  $\hat{S}(\omega_m)$ , а также решить систему двух уравнений.

Точное решение задачи статистического оценивания  $\beta_i$  и  $\psi_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  весьма громоздко. Но существуют оправданные с практической точки зрения предположения, позволяющие его упростить. Так, в предположении, что порождающие процессы для разных резонансных частот некоррелированные, т.е.  $\kappa_{2ki} = 0$  при  $k \neq i$  выражение (1) принимает вид

$$R(s) = \sum_{i=1}^n \frac{a_i^2 \kappa_{2ii} \omega_i^2}{4\beta_i} e^{-\beta_i |s|} \left( \cos \psi_i s + \frac{\beta_i}{\psi_i} \sin \psi_i |s| \right), \quad (12)$$

а при  $s \geq 0$

$$R'(s) = - \sum_{i=1}^n \frac{a_i^2 \kappa_{2ii} \omega_i}{\psi_i} e^{-\beta_i s} \sin \psi_i s. \quad (13)$$

В этом случае в соответствии с (2) спектральная плотность мощности имеет вид

$$S(\omega) = \sum_{i=1}^n \frac{a_i^2 \kappa_{2ii} \omega_i^4}{(\omega_i^2 + \omega^2)^2 - 4\omega^2 \psi_i^2}. \quad (14)$$

Располагая значениями  $R(s)$  и  $S(\omega)$  при различных  $S$  и  $\omega$ , можем построить по (13)–(14) систему линейных независимых уравнений относительно входящих в них неизвестных числовых параметров, а также оценки  $\beta_i$  и  $\psi_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

При малых  $\beta_1$  значения резонансных частот  $\psi_i$  можно приближенно определить по пикам на спектральной плотности мощности (14).

Рассмотрим диагностические признаки по плотности распределения вероятностей математической модели вибрации клапанного механизма ГРМ ДВС. Наличие тех или иных дефектов в механизме приводит к изменению характера его вибраций, что, в свою очередь, вызывает изменение вида кривой его плотности распределения. Это подтверждается результатами гистограммного анализа вибраций [2].

Вид кривой плотности распределения вероятностей характеризуется некоторыми

параметрами. В частности, одномерная кривая нормального распределения полностью определяется первыми двумя моментами (математическим ожиданием и дисперсией).

В результате экспериментов установлено, что математическое ожидание

$$M[\xi(t)] = M[\eta(1)] \sum_{i=1}^n a_i \quad \text{и дисперсия} \quad R(0),$$

определяемая по формуле

$$R(0) = \sum_{i=1}^n A_{in} = \sum_{i,k=1}^n \frac{a_i a_k (\omega_i \omega_k)^2}{2\psi_i \psi_k} a_{ki} \kappa_{2ki}$$

исследуемых вибраций являются малоэффективными диагностическими признаками. Более полную информацию о характере кривой плотности распределения вероятностей несут третий и четвертый моменты, которые можно использовать в качестве диагностических признаков технического состояния ГРМ ДВС. Как показала практика [11, 12], удобнее пользоваться не третьим и четвертым моментами вибрации, а коэффициентами асимметрии  $k$  и эксцесса  $\gamma$ , связанными с третьим и четвертым моментами вибраций соотношениями

$$k^2 = \mu_3 / \mu_2^{3/2};$$

$$\gamma = \beta_2 - 3,$$

где

$$\beta_2 = \mu_4 / \mu_2^2,$$

$\mu_2, \mu_3$ , и  $\mu_4$  определяются из

$$\mu_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\xi_i - v_1)^k, \quad k = 2, 3, \dots,$$

$$\text{где } v_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \xi_i.$$

При вибродиагностике ГРМ ДВС количественные оценки  $\tilde{k}$ ,  $\tilde{\gamma}$  и  $\beta_2$  можно получить с использованием программы гистограммного анализа, входящей в пакет Excel.

**Выводы.** Таким образом, получены способы построения оценок для выше упомянутых диагностических параметров, необходимых для анализа вибраций ГРМ ДВС, которые представляют теоретическую и вычислительную базу для их диагностирования статистическими методами.

#### Список литературы

1. Борисенко А.Н. Теория и практика компьютеризованных информационно-измерительных систем для управления и диагностики дизель-генераторов: дис. д-ра техн. наук. Киев, 2010. Т.1. 337 с.
2. Сергиенко Н.Е., Безпалько А.Ю., Мирошниченко Н.В. Особенности передачи телеметрической информации при испытаниях автотранспортной техники. Вестник Национального технического университета „ХПИ”: сб. науч. тр. Харьков: НТУ „ХПИ”, 2011. №56: Автомобиле- и тракторостроение. С.106-109.

3. Борисенко А.Н., Сергиенко Н.Е., Кубрик Б.И., Соболев Е.Ф. Стенд для диагностики, управления и оценки ДВС. Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. Тезисы докладов XXVI междунар. н.-практ. конф. Ч.1 (16-18 травня 2018 р. Харків). Харків: НТУ «ХПІ», 2018. С. 149.
4. Лавриненко О.В., Борисенко А.Н., Обод П.С. Современные информационно-измерительные системы вибродиагностики ДВС. Вестник НТУ «ХПИ». 2010. №39. С. 132–137.
5. Мясникова Н. В. Спектральный анализ сигналов по амплитудным и временным параметрам на основе измерительного эксперимента: дис. д-ра техн. наук. Пенза, 2001. 379с. URL: <http://www.disscat.com/content/spektralnyi-analiz-signalov-po-amplitudnym-i-vremennym-parametram-na-osnove-izmeritelnogo-ek#ixzz5cU6uDt2A>
6. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы обработки данных: пер. с англ. Москва: Мир, 1980.
7. Фока А.А. Повышение точности экспериментальной информации в задачах идентификации и диагностирования механических систем ДВС. Двигателестроение. – 1986. – № 11. – С. 41–42.
8. Грищенко А.В., Шепелев В.Д., Альметова З.В. Диагностирование газораспределительного механизма виброакустическим методом. Вестник ЮУрГУ. Серия: Машиностроение. 2017. Т.17, №3. С. 48–57
9. Яхьяев Н.Я., Кораблин Н.Я. Основы теории надежности и диагностика. Москва: Академия, 2009. 256 с.
10. Обозов А.А., Таричко В.И. Развитие методов и систем технического диагностирования ДВС. Двигателестроение. 2012. № 4. С.30–34.
11. Сайданов В.О., Столячук Л.В., Асанов А.Ю. Методика диагностирования двигателей внутреннего сгорания. Двигателестроение. 2011. № 3. С.26–30.
12. Никитин Е.А., Станиславский Л.В., Улановский Э.А. и др. Диагностирование дизелей. Москва: Машиностроение, 1987. – 224 с.
- diagnosis, control and evaluation of the internal combustion engine]. *Informatsiyi tekhnolohiyi: nauka, tekhnika, tekhnolohiya, osvita, zdorov'ya. Tezy dopovidey XXVI mizhn. n.-prakt. konf. CH.1 (16-18 travnya 2018 r. Kharkiv)*[Information technology: science, technology, education, health. Abstracts of the reports XXVI International. n.-pract conf. Part 1 (May 16-18, 2018, Kharkiv)]. Kharkiv: NTU «KHPI», 2018. S. 149.
4. Lavrynenko O.V. Borysenko O.M., Obid P.S. Sovremenni informatsiyno-vymiryval'ni systemy vibrodiahnostyky DVS [Modern information-measuring systems of vibrodiagnostics of ICE]. *Visnyk NTU «KHPI»*[Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute: a collection of scientific papers]. 2010. №39: Transportne mashynobuduvannya [Transport engineering]. S. 132-137.
5. Myasnykova N. V. *Spektral'nyy analiz syhnaliv po amplitudnym i chasovym parametram na osnovi vymiryval'noho eksperymentu: dys. d-ra tekhn. nauk* [Spectral analysis of signals in amplitude and time parameters based on the measurement experiment: diss. of dr of techn. sciences]. Penza, 2001. 379s. URL: <http://www.disscat.com/content/spektralnyi-analiz-signalov-po-amplitudnym-i-vremennym-parametram-na-osnove-izmeritelnogo-ek#ixzz5cU6uDt2A>.
6. Dzhonson N., Lion F. *Statystyka ta planuvannya eksperymentu v tekhnitsi i nautsi: Metody obrobky danykh* [Statistics and Experiment Planning in Engineering and Science: Data Processing Methods]: prov. z anhl. Moskva: Myr, 1980.
7. Foka A.A. *Pidvyshchennya tochnosti eksperymental'noyi informatsiyi v zadachakh identyfikatsiyi ta diahnostuvannya mekhanichnykh system DVS* [Improving the accuracy of experimental information in the tasks of identification and diagnosis of mechanical systems of internal combustion engines]. *Dvyhunobuduvannya* [Engine building]. - 1986. - № 11. - S. 41-42.
8. Hrytsenko A.V., Shepelev V.D., Al'metova Z.V. *Diahnostuvannya hazorozpodil'noho mekhanizmu vibroakustychnykh metodom* [Diagnosing the gas distribution mechanism by vibroacoustic method]. *Visnyk YUUrHU. Seriya: Mashynobuduvannya* [Mechanical engineering]. 2017. T.17, №3. S. 48-57
9. Yakh'yayev N.YA., Korablin N.YA. *Osnovy teorii nadiynosti i diahnostryka* [Fundamentals of the theory of reliability and diagnostics]. Moskva: Akademiya, 2009. 256 s.
10. Obozov A.A., Tarichko V.I. *Rozvytk metodiv i system tekhnichnoho diahnostuvannya DVZ* [Development of methods and systems for technical diagnosis of internal combustion engines]. *Dvyhunobuduvannya* [Engine building]. 2012. № 4. S.30-34.
11. Saydanov V.O., Stolyarchuk L.V., Asanov A.YU. *Metodyka diahnostuvannya dvyniv vnutrishn'oho z'horyannya* [Methods of diagnosing internal combustion engines]. *Dvyhunobuduvannya* [Engine building]. 2011. № 3. S.26-30.
12. Nikitin E.A., Stanislavskyy L.V., Ulanovskyy E.A. ta in. *Diahnostuvannya dyzeliv* [Diagnosing diesel engines]. Moskva: Mashynobuduvannya, 1987.-224 s.

## References (transliterated)

Поступила (received) 29.10.2018

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Борисенко Анатолій Миколайович (Борисенко Анатолий Николаевич, Borisenko Anatoliy Nikolaevich)** – доктор технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри теоретичних основ електротехніки; м. Харків, Україна; e-mail: [borisenkoge@gmail.com](mailto:borisenkoge@gmail.com).

**Сергієнко Микола Єгорович (Сергиенко Николай Егорович, Sergienko Nikolay Egorovich)** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Автомобіле- і тракторобудування»; м. Харків, Україна; e-mail: [nesergienko@gmail.com](mailto:nesergienko@gmail.com).

**Світлична Олена Євгенівна (Светличная Елена Евгеньевна, Svetlichnaya Elena Evgenyevna)** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри теоретичних основ електротехніки; м. Харків, Україна; e-mail: [svetlichnaya@gmail.com](mailto:svetlichnaya@gmail.com).

**Агапов Олег Миколайович (Агапов Олег Николаевич, Agapov Oleg Nikolaevich)** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Автомобіле- і тракторобудування»; м. Харків, Україна; e-mail: [agapoivoleg@gmail.com](mailto:agapoivoleg@gmail.com).

**Перевозник Ігор Анатолійович (Перевозник Игорь Анатольевич, Perevoznyk Ihor Anatolievich)** – Харківський державний автомобільно-дорожній коледж, завідувач навчальної лабораторії технічних засобів навчання; м. Харків, Україна; e-mail: [igorperevoznyk1970@gmail.com](mailto:igorperevoznyk1970@gmail.com).